



지방부 비신호 교차로 교통사고 심각도 예측모형 개발

-수도권 주변 및 전라북도 지역의 3지 비신호 교차로를 중심으로-

Development of Severity Model for Rural Unsignalized Intersection Crashes

이 동 민* 김 응 철** 성 낙 문*** 김 도 훈****
 Lee, Dongmin Kim, Eungcheol Sung, Nakmoon Kim, Dohoon

Abstract

Generally, accident exposure at intersections is relatively higher than that at roadway segments due to more possibility of merging, diverging, turning, crossing, and weaving maneuver. Furthermore, the traffic accident rate at intersections has been rapidly increasing since 1990's. Since there is more opportunity of conflict at unsignalized intersection, frequency and severity of traffic accident are more severe than signalized intersections. The purpose of the study is to analyze factors causing vehicle crashes and provide intersection design guidelines to improve intersection safety. For this study, vehicle to vehicle crash data of 116 rural 3 legs unsignalized were collected and field surveys were conducted for traffic and geometric conditions. Ordered probit models were developed to analyze the severity of crashes. It was found that weather, obstacles in minor roadsides, presence of major exclusive right lane, presence of major road crosswalk, difference between posted speed of major road and minor road, land-use around intersections, shoulder width of major road, ADT of major road are significant factors for intersection safety.

keywords : unsignalized intersection, accident severity, ordered probit model, safety

요 지

일반도로구간에서의 사고발생건수는 2000년부터 2006년까지 감소추세를 보이는 반면 교차로에서의 교통사고건수는 현재까지 꾸준하게 증가하고 있기 때문에 교차로에서의 안전성을 증대시키기 위한 노력이 절실히 필요한 실정이다. 본 연구에서는 신호교차로에서의 도로조건, 교통조건, 교통운영상의 조건 등을 분석하여 교차로의 설계 안전성을 저해시키는 요인들을 찾아내고, 그 요인들과 사고와의 상관관계를 이용하여 지방부 4지 신호교차로의 안전성 판단을 위한 사고 예측모형을 개발하고자한다. 또한 사전에 위험요소를 제거하여 교차로에서의 안전성 평가를 위한 가이드라인을 제시함으로써, 교차로에서의 안전성을 높이는 데 그 목적이 있다. 본 연구는 교차로에서의 사고분석을 위하여 비선형 회귀분석을 통해 사고모형을 개발하였고, 이러한 모형들을 이용하여 차대차 사고에 영향을 미치는 주요 설명변수들에 대한 분석을 시도하였다. 모형분석결과, 포아송회귀분석(Poisson Regression)이 모형개발에 가장 적합한 것으로 나타났으며, 사고에 영향을 미치는 변수로는 좌회전 전용차로, 횡단보도, 제한속도, 조명시설, 교차각, ADT 등으로 분석되었다.

핵심어 : 비신호 교차로, 사고심각도, 순서형 프로빗 모형, 안전성

1. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

국민 소득의 증가와 삶의 질 향상에 따라 자동차 소유

* 정회원-한국교통연구원 책임연구원
 ** 정회원-인천대학교 토목환경시스템공학과 조교수
 *** 정회원-한국교통연구원 연구위원
 **** 정회원-한국교통연구원 연구위원



가 보편화 되었고, 여가생활의 증가로 자동차 수요가 계속적으로 증가하고 있다. 특히 일부 지방부 도로는 평일과 비슷한 수준의 교통량을 휴일에도 감당하고 있고, 이에 따라 지방부도로의 사고 위험도는 늘어나고 있다. 더욱이 지방부도로는 도시부도로에 비해 차량의 속도가 빠르고, 상대적으로 장거리 통행이 잦아 교통사고의 심각도가 심하다.

일반도로구간에 비해서 교차로구간은 합류, 분류, 회전, 교차, 엇갈림 등으로 인하여 사고의 가능성이 상대적으로 높다. 특히 비신호 교차로는 교통신호에 의해 교통류가 통제되어 상충의 기회가 상대적으로 적은 신호교차로에 비하여 상충기회가 크에 따라 사고 발생 빈도 및 심각도가 높다. 1990년에 전체 교통사고 중 교차로에서의 차대차사고 비율은 10.48%이었으나 2006년에는 42.41%(도로교통안전관리공단, 통계연보, 2007)로서 교차로에서의 교통사고 발생률은 급속도로 증가하고 있는 실정이다.

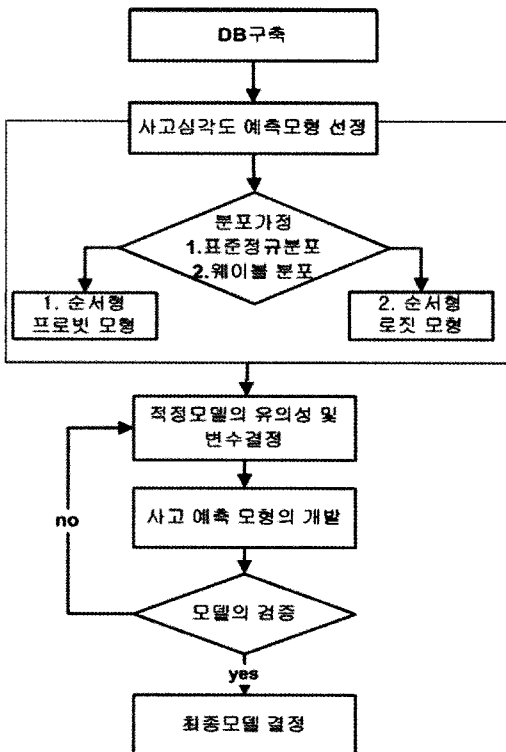
따라서 본 연구는 비신호 3지 교차로에서 발생하는 사고 심각도를 분석하기 위해 수도권 주변과 전라북도 전 지역의 지방부 교차로에서 발생한 사고 자료를 활용하여 우리나라 실정에 맞는 교통사고 심각도 예측모형을 개발하였다. 모형 개발을 위해서 본 연구에서는 비선형 회귀분석 방법을 사용하였다. 이는 기존의 교통사고모형이 주로 선형회귀모형을 사용하여 사고를 분석하였기 때문에 사고 자료의 불규칙적인 특성을 반영하기가 어렵다는 한계를 극복하기 위함이다. 이러한 교통사고의 심각도 모형개발을 통해 교통사고에 영향을 미치는 요인들을 분석하여 지방부 비신호 3지 교차로에서의 안전성을 평가하고자 한다. <그림 1>은 본 연구에서 수행한 연구의 흐름도를 나타낸 것이다.

2. 문헌고찰

1. 기존 연구 고찰

교차로에서 차대차 사고에 영향을 미치는 요인들은 매우 다양하다. 특히 국내 및 국외에서는 서로 다른 요인들에 대해서 교통사고 심각도 예측모형을 개발하는데 각각의 요인들이 교차로 심각도에 미치는 원인분석 및 개선사항을 제시한 연구가 수행되고 있다.

박정순 등(2007)은 청주시 4지 신호교차로를 중심으로 도로환경요인과 교통사고의 상관분석 및 사고추정모형을 개발하였는데, 신호교차로에서의 심각도를 대물피해환산법을 적용한 결과 ADT, 주도로 평균차로 폭, 상향중단경사, 제한속도가 주요 요인으로 분석되었다. 하오근 등(2005)의 연구에서는 충청남북도의 77개 교차로를 대상으로 자동차 사고 심각도 분석을 실시하였으며, 그 결과 사고 심각도에 영향을 미치는 변수로는 부도로 교통량, 주도로 중차량 비율, 주도로 우회전 비율, 주도로 조명시설, 주도로 제약시설 등으로 나타났다. 이수범 등(2000)은 1997년 사고찾은지점 개선사업 시행지점 272개 지점 자료를 단순사고건수법으로 분석하고 이를 외국자료와 평균하여 중앙분리대의 사고감소효과를 제시하였다. 중앙분리대 설치 후 사망사고는 48.2%, 부상사고는 21.2% 감소되는 것으로 분석되었다. Kara



<그림 1> 연구 흐름도



(2002) 는 사고 심각도에 영향을 미치는 요소를 찾기 위해 순서형 프로빗 모형을 적용하였다. 이 연구에서는 차량 단독사고, 차대차 사고 등의 사고에 대해서 분석을 실시한 결과 차량단독사고에 있어서 화물차가 승용차에 비해 안전성이 낮게 나타났고, 차대차 사고에서는 운전자의 사고 심각도는 작은 반면에 조수석의 탑승자의 사고 심각도가 높게 나타났다. 이밖에 Bauer와 Harwood (1996)는 평면교차로에서의 사고와 기하구조와의 상관관계를 분석하여 통계학적 사고모형을 개발하였다. 그들의 연구결과에서도 교통량이 모형에 가장 큰 영향을 미치는 변수로 지목하였고 기하구조 등이 미치는 영향은 크지 않은 것으로 나타났다.

기존연구 고찰결과 현재까지 진행된 대부분의 연구들은 교통사고와의 관계를 교통량을 포함한 소수의 변수만을 사용하여 모형을 개발하거나 교통사고자료의 분포를 고려하지 않고 선형회귀모형을 적용하여, 또한 기존 연구는 교차로 자체의 특성을 반영하여 개발한 모형이라고 할 수 있다. 이는 교차로는 지방부와 도시부의 교차로 특성이 매우 다르고, 신호교차로와 비신호교차로, 3지 교차로와 4지교차로의 특성이 다르기 때문에 이를 고려하지 않고 개발된 사고 심각도 예측모형은 왜곡된 결과를 나타낼 수 있다. 그리고 교통사고는 사고발생당시의 기상 및 도로표면 상태와 운전자의 인적요인이 매우 큰 영향을 미친다. 그러나 이러한 중요한 요인들을 기존연구에서는 반영하지 않고 단순히 도로 기하구조 요인만을 고려하여 심각도 예측모형개발을 하였다.

따라서 본 연구에서는 교차로 유형별 특성을 반영하기 위해 심각도 예측모형의 교차로 범위를 지방부 3지 비신호 교차로로 선정하였다. 사고당시 노면상태, 기상조건, 운전자의 인적요인, 다양한 교차로 기하구조요인 및 교통량 조건을 이용하여 보다 교통사고의 심각도 특성을 잘 설명할 수 있는 비선형 회귀분석모형을 개발하고자 한다.

2. 사고모형에 대한 이론적 고찰

2.1 순서형 프로빗 모형

일반적으로 사고 심각도 예측모형을 개발하기 위해서는 다중 로짓 모델이나 다중 프로빗 모델을 사용한다. 그러나 종속변수가 이항($y=0$ 또는 $y=1$)이 아닌 그 이상

($y=0,1,2,\dots,n$)으로 순서를 지닌 경우에 일반적인 프로빗 모형이나 로짓 모형은 오류를 범할 수 있다. 이는 일반 회귀분석에서는 종속변수가 $y=0$ 과 $y=1$, $y=1$ 과 $y=2$ 사이의 차이를 동일한 것으로 인식하여 분석되는 한계점을 지니고 있기 때문이다. 따라서 본 연구에서는 사고의 심각도 자료 자체 특성이 순서를 갖고 있고 오차항의 분포를 정규분포로 가정하여 교차로에서의 차대차 사고 심각도 모형을 개발하였다.

순서형 자료 y 가 $0,1,2,3,\dots,y_i$ 의 순서형태를 가지고 있다면 순서형 확률모형은 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$y^* = \beta x' + \epsilon, \quad \epsilon \sim N[0,1] \quad (1)$$

$$\begin{aligned} y &= 0 && \text{if } y^* \leq 0 \\ y &= 1 && \text{if } 0 < y^* \leq \mu_1, \\ y &= 2 && \text{if } \mu_1 < y^* \leq \mu_2, \\ &\vdots && \\ y &= J && \text{if } \mu_{J-1} < y^*, \end{aligned}$$

여기서, y^* 는 측정이 가능한 효용($\beta x'$)과 측정이 불가능한 잠재효용(ϵ)으로 나타낼 수 있다. μ 는 각 설명변수에 추정계수 β 와 함께 추정하는 한계값이며, 이를 선택대안에 대한 선택확률을 계산하는데 이용할 수 있다. 또한 오차항(ϵ)을 정규분포로 가정한 경우의 확률 모형을 순서형 프로빗 모형(Ordered Probit Model)이라고 하며, 웨이블 분포로 가정한 경우의 확률모형을 순서형 로짓 모형(Ordered Logit Model)이라 한다. 순서형 로짓 모형의 경우에는 계산의 편리함이 있는데 반해 순서형 프로빗 모형은 다중적분 후 각각의 파라미터 계수값을 도출하는데 계산상 어려움이 있다. 그러나 효용의 확률성분에 대해서 정규분포를 가정하는 것이 일반적이기 때문에 본 연구에서는 순서형 프로빗 모형을 선정하였으며, 계산의 편리함을 위해 통계패키지 LIMDEP 8.0을 이용하여 분석하였다. 이에 따른 각 대안별(순서에 따른) 선택확률은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{Prob}[y=0|x] &= \phi(-\beta x'), \\ \text{Prob}[y=1|x] &= \phi(\mu_1 - \beta x') - \phi(-\beta x'), \\ \text{Prob}[y=2|x] &= \phi(\mu_2 - \beta x') - \phi(\mu_1 - \beta x'), \\ &\vdots \\ \text{Prob}[y=J|x] &= 1 - \phi(\mu_{J-1} - \beta x'). \end{aligned} \quad (2)$$



각 설명변수에 대하여 편미분을 적용하면 설명변수에 대한 한계효과(Marginal Effect)를 나타낼 수 있다. 예를 들면, 터미변수인 경우($x=0$ 또는 1), 설명변수가 사고 심각도에 미치는 영향력을 나타내는 한계효과는 다른 설명변수를 고정한 상태에서 설명변수가 1인 경우의 선택확률과 0인 경우의 선택확률의 차이(=Prob(1)-Prob(0))를 의미한다. 따라서 각 설명변수가 종속변수에 미치는 한계효과의 합은 0이 된다.

$$\begin{aligned} \frac{\partial \text{Prob}[y=0|x]}{\partial x} &= -\phi(\beta x')\beta, \\ \frac{\partial \text{Prob}[y=1|x]}{\partial x} &= [\phi(-\beta x') - \phi(\mu - \beta x')]\beta, \\ \frac{\partial \text{Prob}[y=2|x]}{\partial x} &= -\phi(\mu - \beta x')\beta. \end{aligned} \quad (3)$$

3. 모형의 검증

3.1. ρ^2 (Rho-Squared)

최종적으로 개발된 모형에 대하여 모형의 설명력과 모형의 적합성을 검증하기 위해 ρ^2 (우도비)를 사용하였다. ρ^2 는 McFadden의 결정계수라고도 불리며 0과 1사이의 값을 갖는데 1에 가까울수록 적합도가 높은 모형으로 평가되고, 다음과 같은 식을 통해 산출될 수 있다.

$$\rho^2 = 1 - \frac{LL(\)}{LL(0)} \quad (0 \leq \rho^2 \leq 1) \quad (4)$$

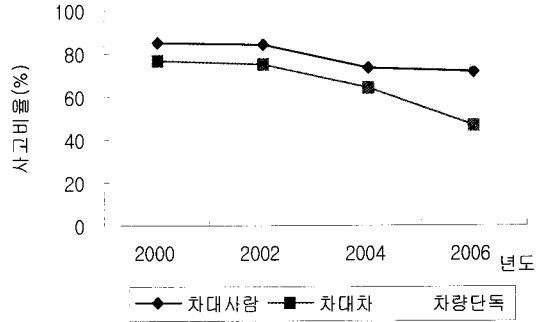
$LL(\)$: loglikelihood function
 $LL(0)$: restricted log likelihood

3. 교통사고 현황 및 자료수집

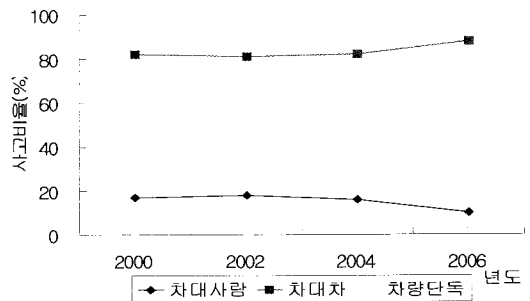
1. 교차로에서의 사고 현황

2000년부터 2006년까지의 도로형태별 사고추이를 보면 교차로에서는 차대차 사고비율이 단일로에 비해서 높은 반면, 단일로에서는 차대사람과 차량단독 사고가 교차로에 비해 상대적으로 많이 발생되었다. 이는 교차로의 경우 단일로에 비해 차량끼리의 상충기회가 많아 차대차 사고가 상대적으로 많이 발생하기 때문에 나타난 결과로 분석된다. <그림 2>는 도로유형별 교통사고추이

를 설명하고 있다. 단일로에서의 사고는 전반적으로 감소추세이나, 교차로의 사고는 소폭증가하고 있다.



a) 단일로



b) 교차로

<그림 2> 도로유형별 교통사고추이
 (자료 : 도로교통안전관리공단, 사고통계)

2005년과 2006년의 신호 교차로와 비신호 교차로에서 발생한 사고 심각도를 살펴보면 사망자수와 부상자수의 비율은 신호교차로에서 더욱 높게 나타났다. 교통신호에 의해 통행권이 보장된 교차로에서는 일반적으로 속도가 비신호 교차로에서 보다 높기 때문에 교통사고 발생 시 심각도가 높게 나타난다. 그러나 비신호 교차로의 경우에는 신호에 의한 강제성 보다는 운전자의 주의력을 요하는 양보에 의해서 교통흐름이 결정되기 때문에 사고의 심각도는 신호교차로 보다 낮게 나타난 결과로 볼 수 있다. 따라서 교차로에서의 도로기하구조 및 교통상황의 문제점을 모색하고 시급히 교차로에서의 안전기반시설을 마련하여 운전자의 안전을 확보해야 할 필요성



이 있다. <표 1>은 신호교차로와 비신호 교차로에서의 사고발생건수를 나타내고 있다. 교차로의 사고는 비신호교차로에서 보다 신호교차로에서 주로 많이 발생하는 것을 알 수 있고, 이는 심각도에서 유사한 결과를 보이고 있다.

2. 사고자료 수집 및 정리

본 연구에 사용된 사고 자료는 2004년 한 해 동안 수도권 주변 및 전라북도 전지역 3지 비신호 교차로에서 발생한 116개 지점의 교통사고 데이터를 이용하였으며, 교차로 교통사고에 영향을 미치는 교통량 및 도로기하구조 자료에 대해서는 국내외 문헌조사를 통하여 설명변수의 유형을 정리하였다. 그리고 해당교차로의 현장조사를 통해 수집된 교통량, 도로위계, 교통섬 유무, 중앙 분리 시설 유무, 교차로의 제한속도, 교차각 등의 추가자료를 92개의 주요변수로서 세분화 하였다. 본 연구를 수행함에 있어 종속변수에 영향을 주는 설명변수의 중복을 방지하고 각각의 변수들 간의 독립성을 확보할 수 있는 변수만을 채택하기 위해 종속변수와 독립변수, 독립변

수와 독립변수간의 상관관계를 신뢰수준 90%($\alpha=0.1$) 이내에서 분석하였다. 상관관계 분석결과, 사고 심각도와 양(+)의 관계를 갖는 변수는 계절, 차로수, 우회전 전용차로 유무, 산업지역, 중차량 교통량 비율, ADT 등으로 나타났으며, 음(-)의 상관관계를 갖는 변수로는 차량주행제한시설물 유무, 제한속도차, 길어깨폭 등으로 분석되었다. 종속변수와 설명변수들 간의 상관분석 결과를 토대로 지방부 3지 비신호 교차로에서의 사고 심각도 예측모형을 개발하였다. <표 2>는 조사지역의 지역별 심각도 정도를 나타내고 있다.

<표 2> 조사지역의 사고 심각도

구분	전라북도	공주시외곽	수도권외곽	계
물피	12	1	5	18
경상	27	1	7	35
중상	39	5	15	59
사망	3	0	1	4
계	81	7	28	116

<표 1> 신호/비신호 교차로의 사고발생건수

구분		2005			2006		
		소계	비신호	신호	소계	비신호	신호
총계	발생건수	214,171	142,320	71,851	213,745	139,316	74,429
	사망자수	6,376	5,117	1,259	6,327	4,942	1,385
	부상자수	342,233	219,624	122,609	340,229	213,553	126,676
단일로	발생건수	112,695	90,108	22,587	113,085	91,465	21,620
	사망자수	4,514	3,968	546	4,581	4,041	540
	부상자수	174,271	139,816	34,455	173,117	140,551	32,556
교차로	발생건수	82,524(100)	35,629(43.2)	46,895(56.8)	90,657(100)	39,012(43.0)	51,645(57.0)
	사망자수	1,320(100)	646(43.2)	674(56.8)	1,463(100)	637(43.5)	826(56.5)
	부상자수	140,056(100)	55,886(48.9)	84,170(51.1)	152,820(100)	60,561(39.6)	92,259(60.4)
기타	발생건수	18,952	16,583	2,369	10,003	8,839	1,164
	사망자수	542	503	39	283	264	19
	부상자수	27,906	23,922	3,984	14,292	12,431	1,861

자료 : 도로교통안전관리공단, 사고통계분석



4. 모형개발 및 결과분석

4.1. 모형개발

본 연구에서는 지방부 3지 비신호 교차로 사고 심각도 예측모형을 개발하기 위하여 통계패키지 LIMDEP 8.0을 이용하여 분석하였으며, 사고 심각도의 데이터 자료 자체가 순서형의 특성을 지닌 점과 오차항에 대한 분포를 정규분포로 가정한다는 점을 이용하여 순서형 프로빗 모형(Ordered Probit Model)을 선정하였다. 그러나 기존의 사고 심각도 모형개발에 있어서 설명력이 뛰어난 3~4개의 설명변수를 조합하여 하나의 모형만을 개발하였으나 이는 독립변수가 종속변수를 다양한 각도로 분석하는데 한계가 있다. 따라서 본 연구에서는 교차로에서의 다양한 기하구조 요소들을 독립변수로 사용하여 여러 대안모형을 개발하였으며, 이 중 설명력이 가장 높은 모형(모형I)을 최종모형으로 선정하였다. 식(5)는 본 연구를 통해 개발된 다양한 모형의 기본식이다.

$$U_i = \alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 \dots + \beta_n X_n \quad (5)$$

U_i : 확률적 효용
 α : 상수
 β : 추정계수
 X : 설명변수

〈표 3〉은 본 연구에서 개발한 모형의 주요 변수의 표시방법 및 기초통계량을 나타낸 것이다.

〈표 4〉는 각 모형에서 사용된 변수와 모형의 ρ^2 값을 보여주고 있고 〈표 5〉는 최종모형에서 사용된 사고 심각도에 영향을 미치는 주요 변수들의 상관관계를 통한 모형결과를 나타낸 것이다. 〈표 6〉에서는 각 모형에서 제시하고 있는 심각도의 한계효과를 설명하고 있다.

본 연구에서의 검증방법은 사고심각도 예측모형의 적합도를 나타내는 χ^2 와 ρ^2 로 분석하였으며, 모든 모형이 유의수준 90%이내에서 유의한 값으로 나타났다.

〈표 3〉 주요 변수의 표시방법 및 기초통계량

변수	변수의 표시방법	기초통계량 (N=116)			
		최소값	최대값	평균	표준편차
심각도	부상의 정도 [표시방법 : 물피=0, 경상=1, 중상=2, 사망=3]	0	3	1.422	0.793
계절	사고발생당시의 계절 [표시방법 : 기타=0, 겨울=1]	0	1	0.276	0.449
부도로 차로수	접근로의 부도로 차로수 [표시방법 : 개수]	1	4	1.198	0.461
부도로 차량주행제한시설물	교차로에서 30m이내의 차량주행제한시설물 [표시방법 : 무=0, 유=1]	0	1	0.035	0.183
주도로 우회전 전용차로	주도로 접근로의 우회전 전용차로 유무 [표시방법 : 무=0, 유=1]	0	1	0.353	0.480
주도로 횡단보도	주도로 접근로의 횡단보도 설치 유무 [표시방법 : 무=0, 유=1]	0	1	0.414	0.495
제한속도차	접근로의 제한속도 차 [표시방법 : 주도로 - 부도로]	0	50	6.810	11.092
토지이용(산업지역)	교차로 주변 토지이용도 [표시방법 : 기타=0, 산업지역=1]	0	1	0.017	0.131
주도로 길어깨 폭	교차로 30m이내의 주도로 길어깨 폭 [표시방법 : m]	0	1.5	0.574	0.411
주도로 ADT	주도로의 교통량 [표시방법 : ln교통량]	7.6	9.7	8.435	0.411



〈표 4〉 주모형 및 예비모형의 분석결과

구분	설명변수	ρ^2
모형 I	날씨, 부도로 차량주행 제약시설물, 주도로 우회전 전용차로, 주도로 횡단보도, 제한속도차, 토지이용(산업지), 주도로 길어깨 폭, 주도로ADT	0.125
모형 II	날씨, 부도로 차로수, 부도로 차량주행 제약시설물, 주도로 횡단보도, 주도로 길어깨 폭, 주도로ADT	0.115
모형 III	날씨, 부도로 차로수, 부도로 차량주행 제약시설물, 주도로 횡단보도, 토지이용(산업지), 주도로ADT	0.114

〈표 5〉 사고 심각도 모형 개발결과

변수		모형 I	모형 II	모형 III
상수	Coefficient	5.047	4.320	4.157
	T-ratio	2.180	1.911	1.830
	P-value	0.029	0.056	0.067
계절	Coefficient	0.565	0.466	0.526
	T-ratio	2.168	1.882	2.106
	P-value	0.030	0.060	0.035
부도로 차로수	Coefficient	-	0.514	0.498
	T-ratio	-	2.100	2.014
	P-value	-	0.036	0.044
부도로 차량주행 제약 시설물	Coefficient	-1.271	-1.203	-1.417
	T-ratio	-2.089	-1.964	-2.353
	P-value	0.037	0.050	0.019
주도로 우회전 전용차로	Coefficient	0.429	-	-
	T-ratio	1.872	-	-
	P-value	0.061	-	-
주도로 횡단보도	Coefficient	-0.836	0.785	0.707
	T-ratio	-3.573	3.404	3.125
	P-value	0.000	0.001	0.002
제한속도 차 (1주-부1)	Coefficient	-0.016	-	-
	T-ratio	-1.612	-	-
	P-value	0.097	-	-
토지이용(산업지역)	Coefficient	1.956	-	2.081
	T-ratio	2.017	-	2.131
	P-value	0.044	-	0.033
주도로 길어깨 폭	Coefficient	-0.264	-0.278	-
	T-ratio	-1.693	-1.807	-
	P-value	0.091	0.071	-
주도로 ADT	Coefficient	0.485	-0.461	-0.474
	T-ratio	1.760	-1.703	-1.746
	P-value	0.078	0.089	0.081

〈표 6〉 사고 심각도 모형별 한계효과 분석

변수		모형I 한계효과	모형II 한계효과	모형III 한계효과
계절	Y=0	-0.092	-0.082	-0.091
	Y=1	-0.122	-0.097	-0.110
	Y=2	0.188	0.153	0.173
	Y=3	0.027	0.026	0.027
부도로 차로수	Y=0	-	-0.103	-0.099
	Y=1	-	-0.101	-0.098
	Y=2	-	0.181	0.177
	Y=3	-	0.022	0.020
	Y=0	0.400	0.382	0.465
	Y=1	0.037	0.035	0.002
부도로 차량주행 제약시설물	Y=2	-0.422	-0.399	-0.449
	Y=3	-0.015	-0.019	-0.017
	Y=0	-0.076	-	-
주도로 우회전 전용차로	Y=1	-0.091	-	-
	Y=2	0.149	-	-
	Y=3	0.017	-	-
주도로 횡단보도	Y=0	0.147	-0.146	-0.132
	Y=1	0.169	-0.153	-0.139
	Y=2	-0.279	0.257	0.237
	Y=3	-0.037	0.042	0.034
제한속도 차 (1주-부1)	Y=0	0.003	-	-
	Y=1	0.003	-	-
	Y=2	-0.006	-	-
	Y=3	-0.001	-	-
	Y=0	-0.117	-	-0.125
	Y=1	-0.317	-	-0.316
토지이용(산업지역)	Y=2	0.061	-	0.000
	Y=3	0.373	-	0.442
	Y=0	0.050	0.056	-
주도로 길어깨 폭	Y=1	0.054	0.055	-
	Y=2	-0.095	-0.098	-
	Y=3	-0.009	-0.012	-
주도로 ADT	Y=0	-0.092	0.092	0.094
	Y=1	-0.099	0.091	0.093
	Y=2	0.175	-0.162	-0.169
	Y=3	0.017	-0.02	-0.019



〈표 7〉 사고심각도 예측모형 검증

	모형 I			모형 II			모형 III		
	추정계수	T-ratio	P-value	추정계수	T-ratio	P-value	추정계수	T-ratio	P-value
mu(1)	1.067	7.321	0.000	1.045	0.141	0.000	1.035	7.328	0.000
mu(2)	3.434	11.315	0.000	3.286	11.774	0.000	3.339	11.356	0.000
ρ^2	0.125			0.115			0.114		
χ^2	33.522			28.32			26.40		
자유도	8			6			6		
N	116			116			116		

4.2 결과분석

앞 절에서 설명한 바와 같이 개발된 각 대안 모형들을 평가한 결과 최종적으로 선정된 사고심각도 예측 모형식은 다음 식 (6)과 같다.

$$U_i = 5.047 + 0.565X_1 - 1.271X_2 + 0.429X_3 - 0.836X_4 - 0.016X_5 + 1.956X_6 - 0.264X_7 + 0.485X_8 \quad (6)$$

- U_i : 사고 심각도
- X_1 : 사고발생당시 계절
- X_2 : 부도로 차량주행제한 시설물
- X_3 : 주도로 우회전 전용차로
- X_4 : 주도로 횡단보도
- X_5 : 제한속도차
- X_6 : 토지이용(산업지역)
- X_7 : 주도로 길어깨 폭
- X_8 : 주도로 ADT

지방부 3지 비신호 교차로에서의 사고 심각도 분석을 위해 순서형 프로비트 모형(Ordered Probit Model)을 이용하여 도출된 최종모형의 설명변수는 사고발생당시의 계절, 부도로 차량주행제한 시설물, 주도로 우회전 전용차로, 주도로 횡단보도, 제한속도차, 토지이용, 주도로 길어깨 폭, 주도로 ADT로 선정되었다. 사고발생당시의 계절이 겨울일 경우 계수의 부호가 양(+)의 부호로 나타나 사고의 심각도가 높아지는 것으로 분석되었으며, 겨울일 경우에 사고발생시 한계효과는 0.1875로서 중상사고가 발생할 확률이 높은 것으로 나타났다. 부도로에 차량주행 제약시설물이 설치되어있을 경우 교차로로 접근하는 도

로상에 과속방지턱, 과속카메라 등과 같이 차량의 주행의 방해로 인해 사고발생시 심각도에 미치는 영향이 적은 것으로 나타났으며, 물피사고($Y=0$)의 한계효과는 0.4000으로서 차량주행 제약시설물의 설치로 인해 사고의 심각도를 크게 감소시킬 수 있다는 것을 의미한다.

주도로의 우회전 전용차로가 설치되어 있을 경우 교통사고의 심각도가 증가하는 것으로 나타났으며 한계효과를 살펴보면 사고발생시 중상사고가 발생할 확률이 높은 것으로 분석되었다. 이는 우회전 전용차로가 있다는 것은 우회전 교통량이 증가한다는 것을 의미하며, 주도로에서 차량이 우회전시 부도로의 직진 차량과의 상충사고가 발생하게 되는데 이때 우회전 차량의 운전석 방향으로 충돌하게 되어 인적피해가 더욱 증가된다. 이러한 위험도는 비신호 교차로에서 신호 교차로 보다 더욱 심각할 것으로 판단된다.

주도로의 횡단보도설치 유무에 따른 결과를 살펴보면 교차로에 횡단보도가 설치되었을 경우에 사고 심각도가 낮아지는 결과가 나타났으며, 사고발생시 물피사고 및 경상사고가 발생할 확률이 높게 분석되었다. 이는 비신호 교차로에서의 보행자 횡단보도는 차량 주행제한시설물의 역할이 되는 것을 의미한다.

주도로와 부도로의 제한속도차가 클수록 사고의 심각도가 낮아지는 결과로 나타났는데 이는 정지된 차량과 80km/h의 속도로 주행하는 차량과의 사고와 80km/h의 속도로 주행하는 두 차량 간의 충돌 시 후자의 경우에 충격이 더욱 크게 발생한다. 따라서 주도로와 부도로의



제한속도의 차이가 작을수록 사고발생시 심각도가 매우 높아지는 것을 의미한다.

교차로 주변 토지이용이 산업지역일 경우 사고의 심각도는 증가하는 것으로 나타났으며, 한계효과를 살펴보면 사망사고(Y=3)의 범위가 0.3729로 나타나 사고발생시 사망사고가 발생할 확률이 매우 높은 것으로 분석되었다. 이는 산업지역의 특성상 차량량의 비율이 상업지역 및 주거지에 비해서 상대적으로 높기 때문에 나타난 결과로 분석된다.

주도로의 길어깨 폭이 넓을수록 사고 심각도가 낮아지는 결과가 나타났다. 일반적으로 길어깨는 측방 여유폭을 가지므로 교통류의 안전성과 쾌적성을 제공하고 특히 교차로에서의 시거 장애물의 영향을 줄이고 시거를 증대시키는 역할을 하고 있다. 하지만 이러한 넓은 길어깨 폭은 길어깨 주행, 길어깨를 이용한 우회전 등의 운전 행태를 유발할 수도 있다.

주도로의 교통량이 증가할수록 사고 심각도가 증가되며, 한계효과 범위가 0.1746으로서 사고발생시 중상 사고가 일어날 확률이 높아지는 것으로 나타났다. 이는 교통량이 증가할수록 차량 간의 사고발생 빈도가 높아지며, 이 또한 심각도에 영향을 미치는 것으로 분석된다.

5. 결론 및 향후 연구과제

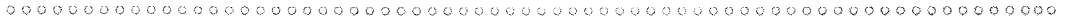
일반도로구간에 비해서 교차로구간은 합류, 분류, 회전, 교차, 엇갈림 등으로 인하여 사고의 잠재성이 상대적으로 높다. 특히, 비신호 교차로는 교통신호에 의해 교통류가 통제되어 상충의 기회가 상대적으로 적은 신호교차로에 비하여 사고 발생 빈도 및 심각도는 높다. 본 연구에서는 지방부의 비신호 3지 교차로에서 발생한 교통사고자료 및 현장조사를 통하여 조사된 교차로의 기하구조자료를 기반으로 사고 심각도 예측모형을 개발하였다. 사고 심각도에 영향을 미치는 변수로는 사고발생당시 날씨, 부도로 차량주행계약 시설물, 주도로 우회전 전용차로, 주도로 횡단보도, 제한속도차, 토지이용, 주도로 길어깨폭, 주도로 ADT으로 선정되었다. 사고 심각도 예측모형 개발을 토대로 분석한 결과, 심각도에 영향을 미

치는 변수들 중 가장 큰 영향을 미치는 변수로는 교차로 주변 토지이용으로 나타났다. 이외에도 주도로 ADT, 사고발생당시의 계절 또한 본 모형에 큰 영향을 미치는 것으로 분석되었다.

본 연구는 기존의 유사한 연구에 비해 교차로의 기하구조 및 도로시설물이 교통사고 심각도에 미치는 영향을 보다 구체적으로 살펴볼 수 있는 강점이 있다. 다시 말하면, 연구의 범위를 지방부 3지 비신호 교차로로 한정하였으며, 사고발생 당시의 기상조건, 교차로 기하구조 및 안전시설물 등에서의 세분화된 설명변수를 이용하여 사고심각도 예측 모형을 개발하였다. 또한 지역의 특성에 의한 사고분석결과의 왜곡을 방지하기 위해서 특정지역의 교차로만을 조사하는 방식에서 벗어나 대도시권 외곽의 지방부 교차로와 전라도의 광범위한 지역의 지방부 교차로를 대상으로 사고 심각도 모형을 개발하여 모형의 범용성과 대표성을 높이고자 하였다. 하지만 본 연구는 다년간의 사고 자료를 사용하지 못하고, 2004년 자료만을 이용하여 연차별 사고심각도의 차이분석 및 사고 심각도 예측의 결과가 제한되었다. 이는 현재 교통사고 자료 획득의 어려움이 안고 있는 문제이다. 또한 본 연구에서는 최초 교통사고 심각도 예측모형 개발 시 사고 발생 당시의 기상조건, 도로상태, 인적요인과 교차로 기하구조 요인들이 고려되었다는 장점이 있으나, 최종적으로 개발된 모형에서는 인적요인이 적용되지 않았다. 이러한 이유로 교통사고의 가장 큰 원인인 인적요인이 적용되지 않은 본 연구의 사고 심각도 예측 모형의 설명력이 상대적으로 부족하다. 따라서 본 연구가 가지고 있는 이러한 한계점들을 향후 연구를 통해 개선되어야 할 것이다. 또한 다양한 연구들을 통해 사고당시의 정확한 사고자료 수집을 토대로 보다 체계적인 교통사고 DB의 구축방안이 마련된다면 향후에는 보다 정확하고 다양한 요인들을 반영한 사고모형 구축이 가능할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 교통체계효율화사업(06교통핵심C01)의 연구비지원에 의해 수행되었습니다.



참고문헌

1. 도로교통안전관리공단, 통계연보, 2007
2. 박정순, 김태영, 유두선(2007), “도로환경요인과 교통사고의 상관분석 및 사고추정모형 개발(청주시 4지 신호 교차로를 중심으로)”, 대한교통학회지, 제25권 제2호, 대한교통학회, pp. 63-72.
3. 성낙문, 오주택, 오재학(2005), “교차로의 안전도 평가에 관한 연구”, 대한토목학회지, 제25권 제10호, 대한토목학회, pp. 1-8
4. 이수범, 박규영(2000), “도로안전시설의 교통사고 감소 효과 측정에 관한 연구”, 대한토목학회 논문집, 제20권 제2-D호, 대한토목학회, pp. 139~147.
5. 임운택(1993), “도로특성이 교통사고에 미치는 영향분석”, 연세대학교 석사학위 논문, 2006
6. 주미영, “프로빗과 순차적 프로빗 분석에 대한 이해와 적용”, 2000
7. 하오근, 오주택, 원제무, 성낙문(2005), “순서형 프로빗 모형을 이용한 사고 심각도 분석”, 대한교통학회지, 제23권 제4호, 대한교통학회, pp. 47-55.
8. Bauer, K.M. and D.W. Harwood(1996), “Statistical Models of At-grade Intersection Accidents”, Final Technical Report, FHWA-RD-96-125, November
9. Box, P.C.(1988), “Major Road Accident Reduction by Modern Illumination” presented at Visibility Symposium in Minneapolis, Minnesota, TRB
10. Foody, T. J., and W. C. Richardson(1973), “Evaluation of Left Turn Lanes as a Traffic Control Device”, Ohio Department of Transportation.
11. Gluck, J., H.S. Levinson, and V. Stover(1999), “Impacts of Access Management Techniques” NCHRP Report 420, TRB
12. Hanna, J. T., T. E. Flynn, and L. T. Webb.(1976), “Characteristics of Intersection Accidents in Rural Municipalities” *Transportation Research Record 601, TRB*
13. Harwood, D.W., F.M. Council, E. Hauer, W.E. Hughes, and A. Vogt(2002), “Prediction of the Expected Safety Performance of Rural Two-Lane Highways”, FHWARD- 99-207, Federal Highway Administration, December
14. Joshua, S.C and Garber, N.J(1990), “Estimating Truck Accident, Rate and Involvements Using Linear and Poisson Regression Models”, *Transportation Planning and Technology, Vol15*, pp41-58.
15. Kara, M,K(2002), “Driver Injury Severity : An Application of Ordered Probit Models”, *Accident Analysis & Prevention, Vol.28*, pp313-321
16. Macher, M.J. Maher and IanSummersgil, I (1995), “A Comprehensive Methodology for the fitting of predictive accident models”, *Acci. Anal. and Prev., Vol. 28*, pp. 281-296,296.
17. McCoy, P. T., and M. S. Malone(1989), “Safety Effects of Left-Turn Lanes on Urban Four-Lane Roadways, *Transportation Research Record 1239, TRB*
18. McCoy, P. T., E. J. Tripi, and J. A. Bonneson,(1994), “Guidelines for Realignment of Skewed Intersections” Nebraska Department of Roads Research Project Number RES1 (0099) P471.
19. Poch, M., and F. L. Mannering.(1996), “Negative Binomial Analysis of Intersection Accident Frequencies,” presented at the 75th annual meeting of the TRB, January.

접 수 일 : 2008. 3. 12
심 사 일 : 2008. 3. 21
심사완료일 : 2008. 8. 12